

## بررسی دوریختی جنسی در شکل پاهای انبرکی اول و دوم و پای دمی سوم گونه *Parhyale* (Momtazi and Maghsoudlou, 2016) بر اساس تکنیک‌های ریخت‌سنجی هندسی

یگانه لایقی<sup>۱</sup>، علی اکبر باقریان یزدی<sup>۲\*</sup>، فرزانه ممتازی<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۴/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۹/۱۶

### چکیده

در این پژوهش دوریختی جنسی در شکل پیش پنجه پاهای انبرکی اول و دوم و انشعاب خارجی پای دمی سوم گونه *Parhyale darvishi* (Momtazi & Maghsoudlou, 2016) بر اساس تکنیک‌های ریخت‌سنجی هندسی بررسی شد. ۱۰۰ نمونه نر و ۵۰ نمونه ماده مورد بررسی قرار گرفت. تصاویر میکروسکوپی از اندام‌های مورد مطالعه تهیه شد و داده‌های کارت‌زین هم‌ساخت (در مفهوم ریاضی آن) بر اساس نیم‌لندمارک‌های حاشیه‌های اندام‌ها استخراج شد و با لغزش نیم‌لندمارک‌ها بر اساس کم‌ترین انرژی خمش تراز گردید. معنی‌داری جدایی جنسیت‌ها با آزمون آنالیز واریانس چندمتغیره (MANOVA)، تحلیل ممیزی خطی (LDA) همراه با روش اعتبار سنجی متقابل و تحلیل خوشه‌ای با استفاده از روش Ward مورد آزمون قرار گرفت. برای به تصویر درآوردن تغییرات وابسته به جنسیت در شکل (ریخت‌شناسی) اندام‌های مورد مطالعه در قالب چهارچوب‌های تغییر شکل، آزمون رگرسیون چندمتغیره (Multivariate Regression) روی مولفه‌های شکلی (Partial Warps & The Uniform Components) انجام شد. جدایی جنسیت‌ها با هر سه آزمون برای سه اندام مورد مطالعه معنی‌دار بود ( $F > 17.15, p < 0.0001$ ). چهارچوب‌های رگرسیون تغییر شکل در جنس‌های نر و ماده برای پای انبرکی اول نشان داد؛ پای انبرکی جنس ماده نسبت طول به عرض کمتری دارد. پای انبرکی دوم در افراد ماده کشیده‌تر و در افراد نر دایره‌مانندتر است. شکل پای دمی سوم در افراد نر کشیده‌تر و انتهای جلویی دارای گوشه‌های گرد شده است. پاهای انبرکی اول و دوم به همراه پای دمی سوم در گونه *P. darvishi* دارای دوریختی جنسی هستند. توصیف دقیق این دوریختی با توجه به اهمیت این ساختارها در تاکسونومی این گونه امکان بررسی دقیق‌تر گونه و همچنین شناسایی گونه بر اساس افراد ماده را فراهم می‌کند.

واژه های کلیدی: دوریختی جنسی، *Parhyale darvishi*، ریخت‌سنجی هندسی، *Hyalidae* نیم‌لندمارک.

۱- دانشجوی مقطع کارشناسی ارشد گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه گلستان، استان گلستان

۲- استادیار گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه گلستان، استان گلستان

\* نویسنده مسئول: alibagherianyazdi@gmail.com, a.bagherian@gu.ac.ir

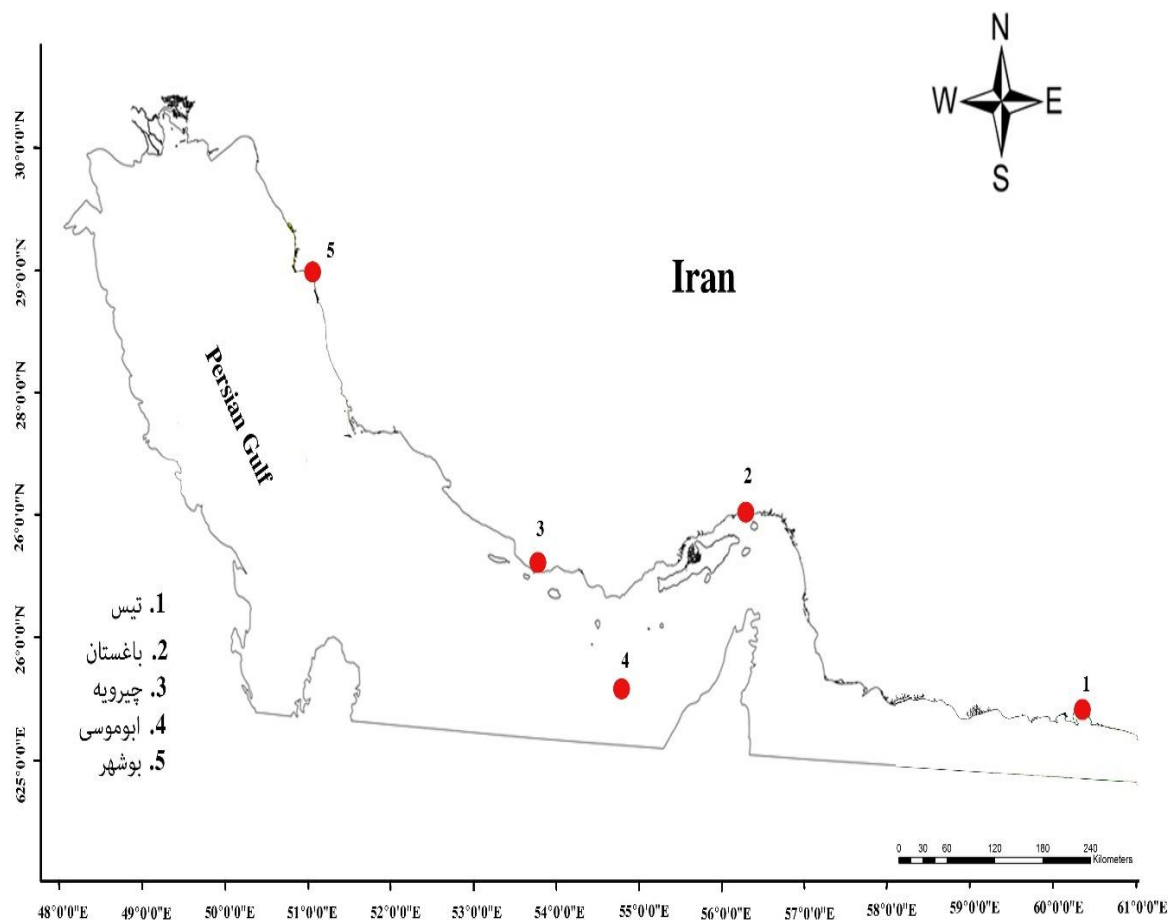
۳- استادیار پژوهشگاه ملی اقیانوس‌شناسی و علوم جوی، تهران

## مقدمه

دوجورپایان سخت‌پوستانی کوچک هستند که به دلیل تنوع بالای گونه‌ای و زیست‌بوم (زیستن در نواحی ساحلی، بخش‌های مختلف ستون آب، برخی زیست‌گاه‌های خشک و آب‌های شیرین)، و همچنین تنوع در روش تغذیه (فیلتری، شکارچی، گیاه‌خوار و ...) و زی‌توده (Biomass) بالا، نقش مهمی در زنجیره غذایی دارند (Olaso, 1999). به علاوه، از دوجورپایان به عنوان نشانگرهای زیست‌محیطی (Bioindicator) استفاده می‌شود، چرا که در کنار دارا بودن فراوانی و تنوع، حساسیت زیادی به آلودگی‌ها و سموم محیط نشان می‌دهند (Hay و همکاران، 1987). دوجورپایان در صنعت شیلات نیز از اهمیت بالایی برخوردار هستند، چرا که غذای اصلی ساردین و ماهی آزاد و غیره می‌باشند (Grosse و همکاران، 1986).

سرده *Parhyale* از اعضای تیره Hyalidae (یکی از ۲۲۸ تیره در راسته دوجورپایان) است. تاکنون ۱۹ گونه از این سرده در جهان گزارش شده است (Horton و همکاران، 2019). گونه *P. hawaiiensis* بسیار مورد توجه دانشمندان قرار گرفته و مطالعات بسیاری از جمله مطالعات تکوینی و ملکولی بر روی آن صورت می‌پذیرد و به عنوان "مدل تکوینی بندپایان" شناخته می‌شود (Rehm و همکاران، 2009؛ Kao و همکاران، ۲۰۱۶). گونه *P. darvishi*، تنها گونه از این سرده است که در بخش بالای جزرومدی سواحل خلیج فارس و دریای عمان توصیف، و به عنوان گونه غالب دوجورپایان در بخش ساحلی ایران معرفی شده است (Momtazi & Maghsoudlou, 2016).

دوریختی جنسی در دوجورپایان اغلب بسیار بارز است (Barnard, 1975). سرده‌های مختلف دوجورپایان را می‌توان به واسطه تفاوت در صفات جنسی ثانوی از جمله اندازه بدن، ساختار پاهای انبرکی (Moor & Wong, 1996)، و شاخک‌ها (Barnard, 1971) تشخیص داد. تکوین این صفات جنسی ثانوی، بیانگر تمایز جنسی و بلوغ افراد است (Hartnoll, 1982)؛ توصیف دقیق صفات جنسی ثانوی امکان تشخیص دقیق گونه، به خصوص در مواردی که فرد نر وجود ندارد، را فراهم می‌کند. ریخت‌سنجی هندسی، از راه‌های مطالعه صفات ریختی جانداران، با استفاده از تحلیل‌های دقیق آماری و ریاضی است (صناعی، ۱۳۹۴). استفاده از روش ریخت‌سنجی هندسی در راسته دوجورپایان بسیار اندک انجام شده و تنها به دو پژوهش محدود می‌شود: Riedlecker و همکاران (۲۰۰۸) با استفاده از روش ریخت‌سنجی هندسی، تنوع ریختی را در شکل پای انبرکی دوم گونه *Caprella mutica* آشکار کرد (Curatolo و همکاران (۲۰۱۳) نیز با کمک روش ریخت‌سنجی هندسی تنوع درون‌گونه‌ای در صفحه شکمی سوم گونه *Bathyporeia guilliamsoniana* را نشان داد. در پژوهش حاضر به بررسی دوریختی جنسی در *P. darvishi* در پیش‌پنجه پاهای انبرکی اول و دوم و انشعاب خارجی پای دمی سوم با استفاده از روش ریخت‌سنجی هندسی پرداخته‌ایم تا تفاوت‌های ریختی جنسی در این سه بخش آناتومیک که ارزش تاکسونومیک بالایی نیز دارند مشخص شود.



شکل ۱: مشخصات ایستگاه‌های مورد بررسی در مطالعه حاضر

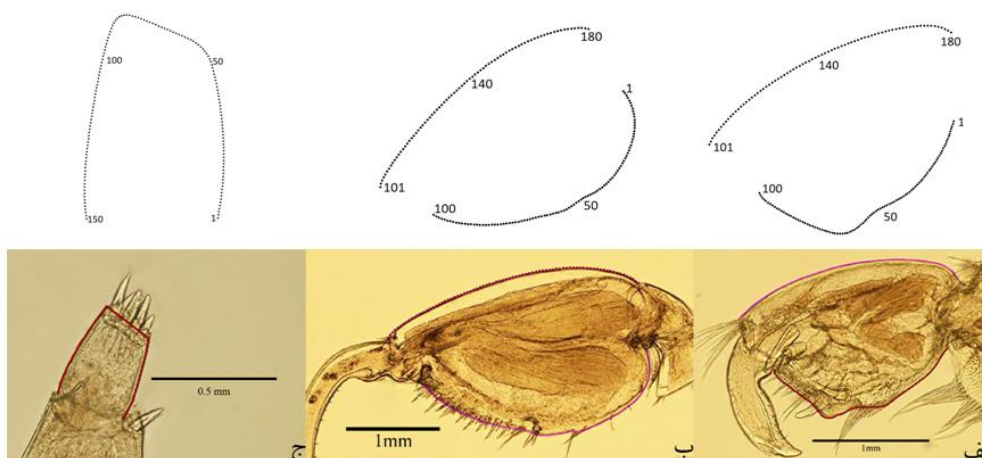
در این پژوهش، از نمونه‌های نگهداری شده در مجموعه پژوهشگاه ملی اقیانوس‌شناسی و علوم جوی استفاده شد که در الکل ۹۶ تثبیت و نگهداری شده بودند. پنج ایستگاه مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۱ و جدول ۱). در مجموع ۵۰ نمونه نر و ۵۰ نمونه ماده مطالعه شد. برای تشریح، نمونه‌ها روی اسلاید، درون گلیسیرین - جهت نرم شدن بافت بدن - قرار داده شدند و سپس اجزای تشریح شده (پاهای انبرکی اول، دوم و پای دمی سوم) با لام تثبیت شدند.

تصاویر بخش‌های مورد بررسی توسط میکروسکوپ Nikon Eclipse 80i (ساخت کشور ژاپن) مجهز به دوربین گرفته شد. به منظور افزایش دقت در پیدا کردن حاشیه اجزای تشریح شده، از هر کدام، چندین عکس با وضوح متفاوت گرفته شد و توسط نرم‌افزار CombineZP به صورت یک عکس درآمد.

جدول ۱: تعداد افراد بررسی شده از هر ایستگاه به تفکیک جنسیت

شماره	نام ایستگاه	مختصات جغرافیایی	تعداد افراد نر	تعداد افراد ماده
۱	تیس	25°21'21"N 60°36'15"E	۱۰	۱۰
۲	باغستان	27°09'01"N 56°07'38"E	۱۰	۱۰
۳	چیرویه	26°42'42"N 53°43'57"E	۱۰	۱۰
۴	ابوموسی	25°52'7.52"N 55°1'6.38"E	۱۰	۱۰
۵	بوشهر	28°59'51.01"N 50°50'15.31"E	۱۰	۱۰

از آنجا که اندام‌های مورد مطالعه فاقد نقاط همساخت قابل اعتماد برای نشانه‌گذاری به عنوان لندمارک‌ها بودند از حاشیه‌های (Outlines) آن‌ها برای استخراج نیم‌لندمارک‌ها (Semilandmarks) استفاده شد. برای پیش‌پنجه پای انبرکی اول (G1) ۱۸۰ نیم‌لندمارک در دو منحنی (شکل ۲، الف)، پای انبرکی دوم (G2) ۱۸۰ نیم‌لندمارک در دو منحنی (شکل ۲، ب) و انشعاب خارجی پای دمی سوم (U3) ۱۵۰ نیم‌لندمارک در یک منحنی (شکل ۲، ج) تعیین و داده‌های کارتزین (Cartesian Coordinate) با استفاده از نرم‌افزار tpsDig version 2.16 (Rohlf, 2010a) استخراج گردید (Digitized).



شکل ۲: تصاویر دیجیتال ساختار آناتومیکی پیش‌پنجه پای انبرکی اول (الف)، پیش‌پنجه پای انبرکی دوم (ب) و انشعاب خارجی پای دمی سوم (ج) به همراه نیم‌لندمارک‌های تعریف شده در گونه *P. darvishi*

به منظور تراز کردن (Generalized Procrustes Analysis)، نیم‌لندمارک‌ها بر سطح منحنی فرضی محاسبه شده از میانگین شکل‌ها (Median Shape) لغزنده (Semilandmark Sliding) شدند تا کمترین انرژی خمش برای هر نیم‌لندمارک به‌دست آید (Bookstein و همکاران، ۲۰۰۲). دو روش برای لغزاندن نیم‌لندمارک‌ها روی منحنی محاسبه شده از حاشیه‌نگارها (Outlines) پیشنهاد شده است: نخست، روش کمترین انرژی خمش (Bookstein و همکاران، ۲۰۰۲) و دیگری کمترین فاصله پروکراست (یا برازش عمود بر محور Sheets و همکاران، ۲۰۰۴). به‌واسطه‌ی اینکه روش نخست نتایج بهتری در کارهای پیشین

نشان داده است و نتایج کمترین انرژی خمش با تفسیرهای زیست‌شناسی جانداران مورد مطالعه همخوانی بیشتری داشت (BagherianYazdi و همکاران، 2012؛ Seifert و همکاران، 2014؛ BagherianYazdi، 2014). در این پژوهش از روش کمترین انرژی خمش استفاده شد. تراز داده‌ها و لغزاندن نیم لندمارک‌ها با نرم‌افزار tpsRelw version 1.49 (Rohlf, 2010b) انجام شد. همبستگی داده‌های تراز شده (Procrusted) با فاصله‌های متناظر در فضای شکلی حاصل از سایه تانژانتی نمونه‌ها (Tangent Shape Distances) به وسیله نرم‌افزار tpsSmall version 1.20 (Rohlf, 2003) آزمون گردید. معنی‌داری جدایی جنسیت‌ها با آزمون آنالیز واریانس چند متغیره (MANOVA) روی داده‌های تراز شده توسط نرم‌افزار tpsRegr version 1.37 (Rohlf, 2009) بررسی گردید. برای اطمینان بیشتر از معنی‌داری جدایی جنسیت‌ها، از تحلیل ممیزی خطی (LDA: Yu & Yang, 2001) همراه با روش اعتبار سنجی متقابل (Cross validation: Arlot & Celisse, 2010) با نرم‌افزار SPSS version 22 و تحلیل خوشه‌ای با استفاده از روش Ward توسط نرم‌افزار (Hammer و همکاران، 2001) PAST version 2.02 نیز انجام گردید. برای به تصویر درآوردن تغییرات وابسته به جنسیت در شکل (ریخت‌شناسی) اندام‌های مورد مطالعه در قالب چهارچوب‌های تغییر شکل، آزمون رگرسیون چندمتغیره (Multivariate Regression) روی مولفه‌های شکلی (Partial Warps & The Uniform Components) توسط نرم‌افزار tpsRegr version 1.37 انجام شد.

## نتایج و بحث

بر اساس نتایج به‌دست آمده از آنالیز همبستگی، تغییرات شکلی پیش‌پنجه پای انبرکی اول و دوم، و همچنین انشعاب خارجی پای دمی سوم، همبستگی زیادی بین فضای شکلی (Shape Space) و فضای سایه تانژانتی (Tangent Space) وجود دارد ( $p < 0.000$ ). بنابراین می‌توان از تحلیل‌های آماری خطی در آزمون‌های بعدی استفاده نمود. بر همین اساس، برای تشخیص جدایی شکلی سه بخش آناتومیک مورد بررسی در این تحقیق در بین دو جنس از آنالیز واریانس چند متغیره (MANOVA) استفاده شد. نتایج آزمون آنالیز واریانس چند متغیره نشان می‌دهد که ساختار شکلی در پیش‌پنجه پای انبرکی اول با مقدار  $F = 165/4$  و  $P < 0/000$ ، با مقدار  $F = 76/62$  و  $P < 0/000$  برای پیش‌پنجه پای انبرکی دوم و مقدار  $F = 17/15$  و  $P < 0/000$  برای انشعاب خارجی پای دمی سوم بین دو جنس متفاوت است (جدول ۲).

جدول ۲: نتایج آزمون آنالیز واریانس چند متغیره (MANOVA) برای سه ساختار آناتومیکی بررسی شده

معنی داری ( $P$ -value)	Goodall's $F$ -test ( $F$ -value) ارزش	درصد واریانس برای جنسیت‌ها	اندام مورد بررسی
0/000	165/4	52/92	پیش‌پنجه پای انبرکی اول
0/000	76/62	34/8	پیش‌پنجه پای انبرکی دوم
0/000	17/15	10/45	انشعاب خارجی پای دمی سوم

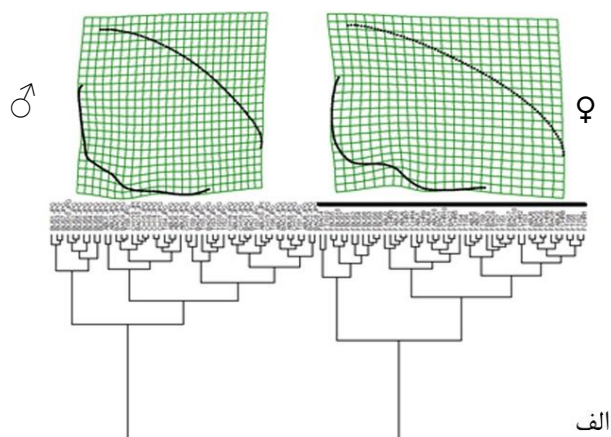
نتایج حاصل از تحلیل خوشه‌ای تغییرات شکلی پای انبرکی دوم، به‌طور کامل و دقیق جنسیت‌ها را مجزا نمود (شکل ۳. الف). نتایج این آزمون برای پای انبرکی اول نیز تمامی ماده‌ها را در یک خوشه دسته‌بندی کرد اما دو نمونه نر از جزیره قشم را نتوانست به درستی دسته‌بندی کند و آنها را در خوشه‌ی ماده‌ها قرار داد (شکل ۳. ب). خطای دسته‌بندی در این آزمون ۱/۳ درصد بود که خوشه‌بندی بسیار موفقی است. با این وجود خوشه‌بندی نمونه‌ها برای پای دمی سوم جداکنندگی پایینی نشان داد. هر چند یک خوشه منحصر از نرها تشکیل گردید (شکل ۳. Error! Reference source not found. ج).

بررسی صحت دسته‌بندی انجام شده توسط تحلیل ممیزی خطی در آزمون اعتبارسنجی متقابل (Cross validation) توانست ۱۰۰ درصد نمونه‌ها برای پای انبرکی دوم، ۱۰۰ درصد نمونه‌ها را برای پای انبرکی اول و ۷۳ درصد نمونه‌ها برای پای دمی سوم را در گروه درست آن دسته‌بندی کند (جدول ۳).

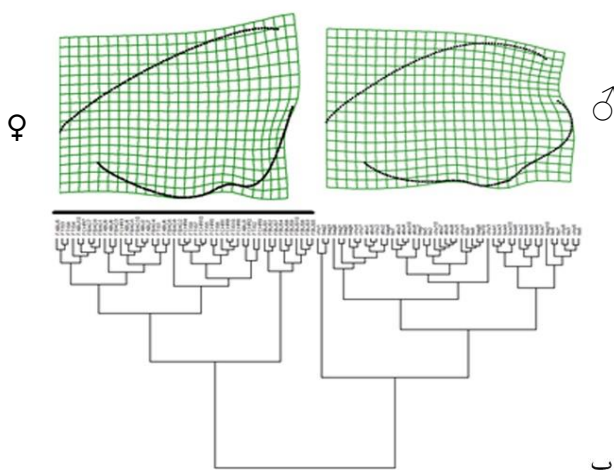
جدول ۳: نتایج حاصل از تحلیل ممیزی همراه با Cross validation

اندام مورد بررسی	Eigenvalue	Canonical correlation	Wilks Lambda	درصد گروه‌بندی صحیح جنس‌ها
پیش‌پنجه پای انبرکی اول	۱۱/۲۳	۰/۹۵۸	۰/۰۸۲	۱۰۰
پیش‌پنجه پای انبرکی دوم	۸۵/۳۶۸	۰/۹۹۴	۰/۰۱۲	۱۰۰
انشعاب خارجی پای دمی	۰/۵۳۹	۰/۵۹۲	۰/۶۵۰	۷۳

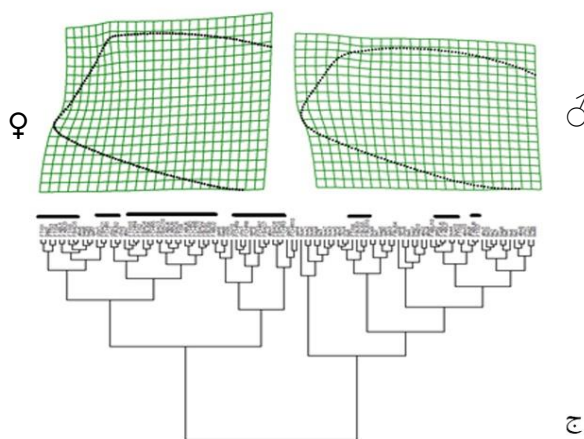
بررسی ساختاری تنوعات شکلی سه بخش آناتومیک مطالعه شده در تحقیق حاضر از طریق چهارچوب‌های رگرسیون تغییر شکلی امکان‌پذیر شد. نتایج چهارچوب‌های رگرسیونی تغییر شکلی در جنس‌های نر و ماده برای پای انبرکی اول نشان داد (شکل ۳. Error! Reference source not found. الف) پیش‌پنجه در جنس ماده نسبت طول به عرض کمتری داشته و بخش پالم (جلویی-شکمی) در افراد ماده دارای زاویه کم‌تری بوده و در افراد نر به شکل دایره نزدیک‌تر است. در مقابل، بخش عقبی-شکمی در افراد نر دارای تحدب کمتری است. نتایج رگرسیون چندمتغیره برای این اندام، همبستگی بالایی بین جنسیت با نیم‌لندمارک‌های ۱۷۱، ۱۷۲، ۱۷۴ و تغییرات یونیفرم در محور Y نشان داد ( $R^2 > 0.56$ ;  $p < 0.0001$ ). همچنین، پیش‌پنجه پای انبرکی دوم (شکل ۳. ب) در افراد ماده کشیده‌تر و در افراد نر دایره ماندتر است. بخش میانی-شکمی پیش‌پنجه پای انبرکی دوم در ماده‌ها دارای بیرون‌زدگی و در نرها فرورفته است. برای پای دوم این همبستگی با نیم‌لندمارک‌های X۱۶۶، ۱۶۸ و Y۱۷۲ بود ( $R^2 > 0.7$ ;  $p < 0.0001$ ) شکل انشعاب خارجی پای دمی سوم (شکل ۳. Error! Reference source not found. ج) در افراد نر کشیده‌تر و انتهای جلویی دارای گوشه‌های گرد شده است و به‌طور کل می‌توان شکل بیضی‌تری را به آن نسبت داد. در حالی‌که در افراد ماده این شکل به مستطیل نزدیک‌تر بوده و دارای گوشه‌های جلویی مشخص است. رگرسیون جنسیت با پای سوم برای نیم‌لندمارک‌های ۱۳۲، ۱۴۳ و ۱۴۵ ضریب همبستگی متوسطی را نشان داد، هرچند معنی‌داری بالایی را داشت ( $R^2 > 0.18$ ;  $p < 0.0001$ ).



الف



ب.



ج

شکل ۳: نتایج آنالیز خوشه‌ای برای جنس نر و ماده در گونه *P. darvishi*. شکل بالای هر خوشه چهارچوب‌های تغییر شکل برای آن خوشه نسبت به میانگین شکلی را نشان می‌دهد. الف) نتایج تحلیل‌های مربوط به پای انبرکی اول. ب) نتایج تحلیل‌های مربوط به پای انبرکی دوم. ج) نتایج تحلیل‌های پای دم‌ی سوم. (تغییر شکل‌ها (و نه اندازه‌ها) دوبار بزرگنمایی شده‌اند تا راحت‌تر دیده شوند. نمونه‌های ماده در دندروگرامها با خط ضخیم سیاه نشان داده شده‌اند.)

همان‌طور که در بخش مقدمه ذکر شد، جنسیت در دوجورپایان براساس تفاوت در صفات اولیه و ثانویه جنسی مشخص می‌شود؛ از جمله طول شاخک دوم (Bousfield, 1989)، حضور یا عدم حضور Calceoli در شاخک دوم (Bousfield, 1989; )، وجود برجستگی شکمی پنیس (Penial Papillae) در بند هفتم سینه‌ای فرد نر و یا صفحات تخمی (Oostegites) در پایه‌ی پیش‌ران‌های دوم تا پنجم در فرد ماده (Sutcliffe, 1992) و شکل و اندازه پاهای انبرکی اول و دوم (Borowsky, 1984; Conlan, 1991; Clark 1997; Wellborn, 2000). قابل اعتمادترین روش برای تعیین جنسیت در دوجورپایان به طور معمول بر اساس حضور یا عدم حضور برجستگی پنیس یا صفحات تخمی است که نیازمند تشریح دقیق نمونه و در مواردی همراه با از دست دادن سایر خصوصیات تاکسونومیک است (Iyengar & Starks, 2008). از همین روی در بیشتر موارد به سایر صفات استناد می‌شود. از آنجا که در تاکسونومی دوجورپایان به‌خصوص در تیره Hyalidae تعیین‌گونه بر اساس توصیفات فرد نر می‌باشد؛ تشخیص جنسیت و تعیین تغییرات شکلی وابسته به جنس به‌خصوص در بخش‌های آناتومیکی که در شناسایی مهم هستند؛ بسیار تعیین‌کننده می‌باشد. نتایج آزمون‌های MANOVA و آزمون خوشه‌ای در مطالعه حاضر نشان داد که شکل پیش‌پنجه پای انبرکی اول و دوم در گونه *P. darvishi* دارای دوریختی جنسی است و بطور کامل دو جنس از یکدیگر متفاوت هستند. نتایج مشابهی در یکی دیگر از گونه‌های این سرده، گونه *Parhyale hawaiiensis* که یک مدل در مطالعات تکوینی و ژنتیکی می‌باشد؛ به‌دست آمده که بیانگر دوریختی جنسی در شکل پاهای انبرکی اول و دوم است (Kao و همکاران، 2006). با توجه به آنکه در توصیف گونه *P. darvishi* توسط Momtazi & Maghsoudlou (2016) به تفاوت شکلی پیش‌پنجه انبرکی پای اول در فرد نر و در توصیف گونه *Parhyale piloi* توسط Myers و همکاران (۲۰۱۷) از آب‌های مجاور (شبه جزیره هند) به ساختار پیش‌پنجه انبرکی پای دوم فرد نر وزن زیادی داده شده است، باید در شناسایی و گزارش این جانور به تعیین جنسیت آن توجه دقیقی شود. همچنین، عدم دسته‌بندی دو فرد نر در ساختار پیش‌پنجه انبرکی پای دوم به احتمال زیاد با توجه به طول کل بدنی کوچک‌تر آنها بیانگر آن است که این تغییرات در طی مراحل رشدی ایجاد می‌شود و در بررسی‌های تاکسونومیک باید افراد کاملاً بالغ مورد بررسی قرار گیرند.

ارزش‌سازی دوریختی جنسی در پای انبرکی اول و دوم مورد بررسی‌های متعددی قرار گرفته است. بر اساس نحوه‌ی جفت‌گیری در دوجورپایان، شیوه جفت‌گیری در اعضای تیره Hyalidae از نوع Mate-guarding است که در آن فرد نر، فرد ماده را در برمی‌گیرد و چند مرحله آخر پوست‌اندازی را با هم طی می‌نمایند و در این مدت فرد نر برای حفظ فرد ماده با دیگر افراد نر نزاع می‌کند (Conlan, 1991). بر اساس نظریه Darwin (۱۸۷۱) ارزش عملکردی پای انبرکی دوم در فرایند جفت‌گیری دوجورپایان، نگهداری فرد ماده در طول دوره دربرگیری است. مطالعه Hume و همکاران (۲۰۰۵) ضمن رد این نظریه، معتقد است نقش پای انبرکی دوم بیشتر در تقابل نر-نر موثر است. وجود دوریختی جنسی در پاهای انبرکی اول و دوم در دوجورپایانی



که از روش Mate-guarding استفاده می‌کنند، قابل‌انتظارتر است از دوجورپایانی که از روش non-mate-guarding استفاده می‌کنند. در این گروه دوریختی جنسی بیشتر در شکل شاخک‌ها و چشم‌ها گزارش شده است (Tamaki و همکاران، 2018).

در بخش دیگری از نتایج به‌دست آمده در این مطالعه در شکل پای دمی سوم دوریختی جنسی دیده می‌شود که یک یافته نو ظهور در مطالعات دوجورپایان بوده که دریچه‌ایی نوین در مطالعات تاکسونومیک دوجورپایان باز می‌کند. تا به امروز در هیچ مطالعه انجام شده در تاکسونومی دوجورپایان به دوریختی جنسی در این بخش از بدن دوجورپایان اشاره نشده بود. این موضوع با توجه به آنکه شکل پای دمی سوم و خصوصیات آن در شناسایی و تبارزایی دوجورپایان اهمیت زیادی دارد، نشان می‌دهد؛ که تعیین جنسیت فرد در مطالعات تاکسونومیک تا چه حد تعیین کننده است. این تفاوت شکلی در ساختار پای دمی سوم همچنین، در توصیف گونه *P. darvishi* (Momtazi & Maghsoudlou, 2016) مورد توجه قرار نگرفته بوده است.

## نتیجه‌گیری کلی

پاهای انبرکی اول و دوم به همراه پای دمی سوم در گونه *P. darvishi* دارای دوریختی جنسی هستند. توصیف دقیق این دوریختی با توجه به اهمیت این ساختارها در تاکسونومی این گونه امکان بررسی دقیق‌تر گونه و همچنین شناسایی گونه بر اساس افراد ماده را فراهم می‌کند.

## منابع

- صناعی، ا. (۱۳۹۴). بررسی تنوع بین جمعیتی سوسک سرخرطومی یونجه (*Hypera postica* (Coleoptera: Curculionidae) به روش ریخت‌سنجی هندسی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد در رشته بیوسیستماتیک جانوری. دانشگاه تهران.
- ممتازی، ف. (۱۳۹۲). تاکسونومی و بررسی تغییرات بین جمعیتی دوجورپایان بین جزر و مدی سواحل ایرانی خلیج فارس و دریای عمان. رساله دکترا در رشته بیوسیستماتیک جانوری. دانشگاه تهران.
- Arlot, S. and Celisse, A. (2010). A survey of cross-validation procedures for model selection. *Statistics Surveys*. 4: 40–79.
- BagherianYazdi, A., Münch, W. and Seifert, B. (2012). A first demonstration of interspecific hybridization in *Myrmica* ants by geometric morphometrics (Hymenoptera: Formicidae). *Myrmecological News*. 17. 121-131.
- BagherianYazdi, A. (2014). Application of geometric morphometrics to analyze allometry in two species of the genus *Myrmica* (Hymenoptera: Formicidae). *Soil Organisms*. 86(1):77-84.
- Barnard, J. L. (1971). Keys to the Hawaiian marine Gammaridea, 0-30 meters. *Smithson. Contrib. Zool*. 58:1-135.
- Barnard, J. L. (1975). Identification of gammaridean amphipods. In RI Smith, JT Carlton, eds. *Light's manual: intertidal invertebrates of central California coast*, 3rd ed. London: Univ. of California Press, pp. 313-376.
- Bookstein, F. L., Streissguth, A. P., Sampson P. D., Connor P.D. and Barr, H. M. (2002). Corpus callosum shape and neuropsychological deficits in adult males with heavy fetal alcohol exposure. *NeuroImage* 15: 233–251.

- Borowsky, B. (1984). The use of the males' gnathopods during precopulation in some gammaridean amphipods. *Crustaceana*. 47:245-250.
- Bousfield, E. L. (1989). Revised morphological relationships within the amphipod genera *Pontoporeia* and *Gammaracanthus* and the "Glacial relict" significance of their post glacial distributions. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 46: 1714-1725.
- Clark, R. A. (1997). Dimorphic males display alternative reproductive strategies in the marine amphipod *Jassa marmorata* Holmes (Corophioidae: Ischyroceridae). *Ethology*. 103: 531-553.
- Conlan, K. E. (1991). Precopulatory mating behavior and sexual dimorphism in the amphipod Crustacea. *Hydrobiologia*, 223, 255-282.
- Curatolo, T., Calvaruso, C., Galil, B. and Lo Brutto, S. (2013). Geometric morphometry supports a taxonomic revision of the Mediterranean *Bathyporeia guilliamsoniana* (Spence Bate, 1857) (Amphipoda, Bathyporeiidae). *Crustaceana*. 86. 820-828.
- Darwin, C. (1871). *The descent of man and selection in relation to sex*. John Murray, London, 960Pp
- Grosse, D. J., Pauley, G. B. and Moran, D. (1986). Species profiles: life histories and environmental requirements of coastal fishes and invertebrates (Pacific Northwest) Amphipods. United states Fish and Wildlife Service Biological Report, 82, 11-69.
- Hammer, Ø., Harper, D.A.T. and Ryan, P. D. (2001). PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica* 4(1): 9pp.
- Hartnoll, R.G. (1982). Growth. In: Bliss, D. E. eds. *The biology of Crustacea: embriology, morphology and genetics*. New York, Academic. p. 11-196.
- Hay, M. E., Fenical, W. and Gustafson, K. (1987). Chemical defense against different marine herbivores: are amphipods insect equivalents? *Ecology*. 68(6), 1567- 1580.
- Horton, T., Lowry, J., De Broyer, C., Bellan-Santini, D., Coleman, C.O., Corbari, L., Costello, M.J., Daneliya, M., Dauvin, J.-C., Fišer, C., Gasca, R., Grabowski, M., Guerra-García, J.M., Hendrycks, E., Hughes, L., Jaume, D., Jazdzewski, K., Kim, Y.-H., King, R., Krapp-Schickel, T., LeCroy, S., Lörz, A.-N., Mamos, T., Senna, A.R., Serejo, C., Sket, B., Souza-Filho, J.F., Tandberg, A.H., Thomas, J.D., Thurston, M., Vader, W., Väinölä, R., Vonk, R., White, K. and Zeidler, W. (2019). World Amphipoda Database. Parhyale (Stebbing, 1897). Accessed through: World Register of Marine Species at: <http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=101549> on 2019-05-14
- Hume, K., Elwood, R., Dick, J. and Morrison, Jenny. (2005). Sexual dimorphism in amphipods: The role of male posterior gnathopods revealed in *Gammarus pulex*. *Behavioral Ecology and Sociobiology*. 58. 264-269.
- Iyengar, V. and Starks, B. (2008). Sexual selection in harems: Male competition plays a larger role than female choice in an amphipod. *Behavioral Ecology*. 19. 642-649.
- Kao D., Lai A. G., Stamatakis, E., Rosic, S., Konstantinides, N., Jarvis, E., Donfrancesco, A. D., Pouchkina-Stancheva, N., Sémon, M., Grillo, M., Bruce, H., Kumar, S., Siwanowicz, I., Le, A., Lemire, A., Eisen, M. B., Extavour, C., Browne, W. E., Wolff, C., Averof, M., Patel, N. H., Sarkies, P., Pavlopoulos, A. and Aboobaker A. (2006). The genome of the crustacean *Parhyale hawaiiensis*, a model for animal development, regeneration, immunity and lignocellulose digestion. *eLIFE*. 5. 10.7554/eLife.20062.
- Momtazi, F., Maghsoudlou, A. (2016). *Parhyale darvishi*, a new widely distributed amphipod species, in the Persian Gulf and the Gulf of Oman (Crustacea, Amphipoda, Hyalidae). *Zootaxa*. 4132(3): 364-372.

- Myers, A. A., Trivedi, J. N., Gosavi, S., & Vachhrajani, K. D. (2017). A new species of genus *Parhyale* Stebbing, 1897 (Crustacea, Amphipoda, Hyalidae) from Gujarat State, India. *Zootaxa*, 4294(5), 593-599.
- Moore, P.G. and Wong, Y.M. 1996. Observations on the life history of *Orchomene nanus* (Kryer) (Amphipoda: Lysianassoidea) at Millport, Scotland as deduced from baited trapping. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 195: 53-70.
- Olasso, I. (1999). The pelagic fish food web. *Ber Polarforsch (Bremerhaven)* 301, 110-118.
- Rehm, E. J., Hannibal, R. L., Chaw, R. C., Vargas-Vila, M. A. and Patel, N. H. (2009). The crustacean *Parhyale hawaiiensis*: a new model for arthropod development. *Cold Spring Harbor Protocols*. 2009 (1).
- Riedlecker, E., Ashton, G. and Ruiz, G. (2009). Geometric morphometric analysis discriminates native and non-native species of Caprellidae in western North America. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*. 89(3), 535-542.
- Rohlf, F. J. (2003): tpsSmall: Calculation of shape variation, Version 1.20. – Stony Brook, NY: Department of Ecology and Evolution, State University of New York at Stony Brook [<http://life.bio.sunysb.edu/morph>].
- Rohlf, F. J. (2009): tpsRegr: shape regression, version 1.37. – Department of Ecology and Evolution, State University of New York at Stony Brook, New York [<http://life.bio.sunysb.edu/morph>].
- Rohlf, F.J., (2010a): tpsDig-Thin Plate Spline Digitizer Version 2.16. – Department of Ecology and Evolution, State University of New York at Stony Brook, New York [<http://life.bio.sunysb.edu/morph>].
- Rohlf, F. J. (2010b): tpsRelw: Relative warps analysis, version 1.49. – Department of Ecology and Evolution, State University of New York at Stony Brook, New York [<http://life.bio.sunysb.edu/morph>].
- Seifert, B., BagherianYazdi, A. and Schultz, R. (2014). *Myrmica martini* sp. n. - a cryptic species of the *Myrmica scabrinodis* species complex (Hymenoptera: Formicidae) revealed by geometric morphometrics and nest-centroid clustering. *Myrmecological News*. 19:171-183.
- Sheets, H. D., Kim, K. and Mitchell C.E. (2004). A combined landmark and outline-based approach to ontogenetic shape change in the Ordovician Trilobite *Triarthrus becki*. *Applications of Morphometrics in Paleontology and Biology*. Springer, New York: 67–81.
- Sutcliffe, D. W. (1992). Reproduction in *Gammarus* (Crustacea, Amphipoda) basic processes. *Freshwater Forum* 2: 102-128.
- Tamaki, A., Kagesawa, T., Takeuchi, S., and Sassa, S. (2018). Sexual dimorphism in the gammaridean amphipod, *Urothoe carda* Imbach, 1967, from an intertidal sandflat in southern Japan. *Acta Zoologica*. 1–6
- Tsoi, K. H. and Chu, K. H. (2005). Sexual dimorphism and reproduction of the amphipod *Hyale crassicornis* Haswell (Gammaridea: Hyalidae). *Zoological Studies*, 44(3), 382.
- Wellborn, G. A. (2000). *Selection on a sexually dimorphic trait in ecotypes within the Hyalella azteca species complex (Amphipoda: Hyalellidae)*. *American Midland Naturalist* 143: 212-225.
- Yu, H. and Yang, J. (2001). A direct LDA algorithm for high-dimensional data with application to face recognition. *Pattern Recognition*. 34 (10): 2067–2069.

## Sexual dimorphism of gnathopods 1 and 2 and uropod 3' shapes in *Parhyale darvishi* (Momtazi and Maghsoudlou, 2016) based on geometric morphometric methods

Y. Layeghi<sup>1</sup>, A. Bagherian Yazdi<sup>2\*</sup>, F. Momtazi<sup>3</sup>

Received: 2019.7.9

Accepted: 2019.12.7

### Abstract

Sexual dimorphism of gnathopods 1 and 2 and uropod 3' shapes in *Parhyale darvishi* (Momtazi and Maghsoudlou, 2016) were investigated by geometric morphometrics. A total 50 males and 50 females were experimented. Anatomical aspects of gnathopods and uropods were photographed and cartesian coordinate (semilandmarks of organs' margin) aligned by semilandmark sliding based on minimum bending energy. Statistical significance of sexual dimorphism was tested by multivariate analysis of variances; linear discriminant analysis and clustering analysis (ward method). Multivariate regression analysis based on partial warps and uniform components was used to depicting shape variations related to sex <sup>2</sup>in studied anatomical parts in the form of deformation frames. The results show all three anatomical parts was significantly different shape in male and females ( $F > 17.15$ ,  $p < 0.0001$ ). The deformation regression frameworks of first gnathopod show that the ratio of length to width in females are less than males. The second gnathopod has an oval shape in females instead of circular form in males. The shape of third uropod in males is more extended and bearing subacute angles. Based on present studies, the accurate description of sexual dimorphism specially in taxonomic characters provide ability for identification based on females and detail study of species .

**Keywords:** Sexual dimorphism, *Parhyale darvishi*, Hyalidae, Semilandmark, Geometric morphometrics.

---

1- student, Department of Biology, Faculty of Science, Golestan University, Golestan, Iran

2- Assistant Professor, Department of Biology, Faculty of Science, Golestan University, Golestan, Iran

\*(Corresponding Author: alibagherianyazdi@gmail.com +a.bagherian@gu.ac.ir)

3- Assistant Professor, Iranian National Institute for Oceanography and Atmospheric Science, Tehran, Iran